

POPULIARIAUSIŲ LIETUVOS INTERNETO SVETAINIŲ SKAITMENINIO PĖDSAKO MAŽINIMO GALIMYBIŲ ANALIZĖ

Gerda Ivanickienė, Jūratė Ignatavičiūtė

*Utenos kolegija,
Maironio g. 7, Utena, Lietuva*

Anotacija

Straipsnyje nagrinėjamos interneto svetainės paliekamo skaitmeninio pėdsako mažinimo galimybės, kurios ypač aktualios tvarios programinės įrangos inžinerijos aspektu. Sparčiai augantys skaitmenizavimo tempai ir interneto paslaugų plėtra vis daugiau vartotojų verčia naudotis jiems aktualiomis ar būtinomis paslaugomis internetu, tačiau realizuojantys paslaugas (sukurdami paslaugų interneto svetaines, jas talpindami serveriuose ir pan.) dažniausiai per daug neskiria laiko įvertinti interneto svetainės energetinį efektyvumą ir daromą poveikį aplinkai. Šio straipsnio tikslas – išanalizuoti populiariausių Lietuvos interneto svetainių skaitmeninį pėdsaką inžineriniu požiūriu ir nustatyti galimybes jų skaitmeniniam pėdsakui mažinti. Straipsnyje aptariami pagrindiniai interneto svetainės skaitmeninio pėdsako vertinimo rodikliai bei priemonės jiems matuoti, pateikiami atliktų Lietuvos populiariausių skirtingo sektoriaus interneto svetainių skaitmeninio pėdsako rodiklių matavimo rezultatai ir remiantis jais suformuluotos rekomendacijos, sudarančios prielaidas mažinti interneto svetainės skaitmeninį pėdsaką bei prisidėti prie tvaresnės skaitmeninės visuomenės plėtojimo.

Atliktas tyrimas parodė, jog pagrindiniai interneto svetainės skaitmeninį pėdsaką generuojantys rodikliai – puslapio svoris (MB), CO₂ emisija (g), HTTP užklausų skaičius, serverio energija ir DOM elementų kiekis – diktuoja skirtingas interneto svetainės optimizavimo tvarumo požiūriu strategijas, tuo tarpu gilesnė gautų rezultatų analizė leido suformuluoti apibendrintą optimizavimo veiksmų seką.

Rengiant straipsnį taikyti tyrimo metodai: mokslinės literatūros ir interneto šaltinių analizė, matavimo rodiklių vertinimas, lyginamoji analizė, apibendrinimas.

Reikšminiai žodžiai: interneto svetainės skaitmeninis pėdsakas, skaitmeninio pėdsako mažinimas, tvari programinė įranga, skaitmeninio pėdsako vertinimo rodikliai.

Įvadas

Sparčiai auganti skaitmenizavimo ir interneto paslaugų plėtra suformavo klaidingą nuostatą, kad skaitmeninė erdvė neturi tiesioginio poveikio aplinkai. Visgi, tyrimai rodo, kad informacinių ir ryšių technologijų (IRT) sektorius generuoja nuo 2,1 % iki 3,9 % visų pasaulinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų (Freitag ir kt., 2021). Inžineriniu požiūriu interneto svetainės energetinis efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo jos programinės architektūros: perduodamų duomenų kiekio, užklausų skaičiaus ir kliento pusėje vykdomų skaičiavimų sudėtingumo (Rani ir kt., 2024).

Nors Vakarų Europoje tvarioji programinės įrangos inžinerija tampa standartu, kurį įtvirtina tokios iniciatyvos kaip Žaliosios programinės įrangos fondas (Green Software Foundation, 2023), Lietuvoje vis dar prioretizuojami vartotojo sąsajos sprendimai bei paieškos sistemų optimizavimo rodikliai. Šią tendenciją patvirtina nacionalinis reglamentavimas (Informacinės visuomenės plėtros komitetas, 2023), kai detalčiai nurodomi techniniai informacijos prieinamumo ir suderinamumo su įvairiais įrenginiais reikalavimai, tačiau neaptariami energetinio efektyvumo kriterijai ar duomenų perdavimo srautų optimizavimas ekologiniu aspektu. Kaip galima matyti, įvairios iniciatyvos ir standartai kreipia link tvarios inžinerijos plėtros, tačiau yra stokojama tyrimais pagrįstų interneto svetainių optimizavimo strategijų.

Šio **straipsnio tikslas** – išanalizuoti populiariausių Lietuvos interneto svetainių skaitmeninį pėdsaką inžineriniu požiūriu ir nustatyti galimybes jų skaitmeniniam pėdsakui mažinti.

Uždaviniai:

1. Išsiaiškinti skaitmeninio pėdsako, kurį palieka interneto svetainės, vertinimo rodiklius.
2. Išmatuoti pasirinktų Lietuvos interneto svetainių paliekamo skaitmeninio pėdsako rodiklius ir identifikuoti inžinerines optimizavimo galimybes.
3. Suformuluoti bendras rekomendacijas interneto svetainės skaitmeniniam pėdsakui mažinti.

Tyrimui buvo pasirinktos didžiausią lankomumą turinčios Lietuvos interneto svetainės iš skirtingų sektorių – žiniasklaidos, valstybinių institucijų ir elektroninės prekybos. Vertinimas atliekamas viešai prieinamais ir nemokamais įrankiais.

Tyrimas apribojamas pradinio puslapio analize, nes jis generuoja didžiausią duomenų srautą (HTTP Archive, 2025).

Rengiant straipsnį taikyti **tyrimo metodai**: mokslinės literatūros ir interneto šaltinių analizė, matavimo rodiklių vertinimas, lyginamoji analizė, apibendrinimas.

1. Skaitmeninio pėdsako vertinimo pagrindiniai rodikliai

Tvariosios programinės įrangos inžinerija apibrėžiama kaip programinės įrangos projektavimo, kūrimo ir eksploatavimo disciplina, siekianti minimizuoti jos anglies dvideginio (CO₂) emisijas ir energijos sąnaudas (Arnia, 2025), tačiau taip pat yra svarbu, kad nenukentėtų ir efektyvumas.

Skaitmeninio pėdsako vertinimas prasideda nuo puslapio svorio (MB), kuris tiesiogiai lemia duomenų perdavimo apimtį ir energijos sąnaudas. CO₂ emisija laikoma pagrindiniu tvarumo veiklos rodikliu. HTTP užklausų skaičius atspindi tinklo efektyvumą, nes kiekviena užklausa padidina serverio ir kliento krūvį (Arnia, 2025). Serverio energija matuoja serverio resursų pusės suvartojimą, o puslapio elementų hierarchinės struktūros elementų kiekis (toliau – DOM) – kliento apdorojimo sudėtingumą, abu šie parametrai prisideda prie bendro interneto svetainės skaitmeninio pėdsako (Contino, 2024).

Remiantis HTTP Archive Web Almanac 2024 metų duomenimis, duomenų perdavimas ir užklausos sudaro didžiąją puslapio svorio dalį, o tai lemia energijos sąnaudas ir CO₂ emisiją (HTTP Archive, 2024). Šie parametrai, kartu su serverio ir DOM krūviu, dominuoja emisijose pagal Žaliosios programinės įrangos fondo standartus (Arnia, 2025; Contino, 2024). Todėl jie sudaro iki 80% svetainės emisijų ir yra prioritetiniai optimizavimui (Arnia, 2025; Contino, 2024; HTTP Archive, 2024).

Skaitmeninio pėdsako vertinimui bus matuojami pagrindiniai rodikliai: puslapio svoris (MB), CO₂ emisija (g), HTTP užklausų skaičius, serverio energija ir DOM elementų kiekis. Šie rodikliai apima tiek serverio, tiek kliento pusės poveikį ir leidžia tiksliai įvertinti svetainės skaitmeninį pėdsaką ir nustatyti optimizavimo prioritetus. Rekomenduojamos rodiklių vertės nurodytos 1 lentelėje.

1 lentelė. Interneto svetainių skaitmeninio pėdsako vertinimo rodiklių vertės

Matuojamas rodiklis	Rekomenduojama riba
Puslapio svoris (MB)	< 2-3 MB (HTTP Archive, 2024)
Užklausų skaičius (HTTP)	< 50 (HTTP Archive, 2024)
DOM elementų kiekis	< 800 (rekomenduojama), < 1500 (kritinė riba) (web.dev, 2023)
CO ₂ emisija (g)	< 1 g per puslapio įkėlimą (EcoFriendlyWeb, 2023)

2. Priemonių skaitmeniniam pėdsakui vertinti pasirinkimas

Skaitmeninio pėdsako vertinimui buvo pasirinkti viešai prieinami ir nemokami analizės įrankiai, leidžiantys objektyviai įvertinti pagrindinius svetainės techninius ir aplinkosauginius rodiklius – puslapio svorį, CO₂ emisiją, užklausų skaičių, serverio naudojamą energiją, DOM elementų kiekį. Nors šie įrankiai pateikia apibendrintus vertinimus, jų funkcionalumo pakanka palyginamajai analizei atlikti ir pagrįstoms išvadoms apie svetainių skaitmeninį pėdsaką suformuluoti. Interneto svetainės skaitmeninio pėdsako vertinimo įrankiai nurodyti 2-oje lentelėje.

2 lentelė. Interneto svetainių skaitmeninio pėdsako vertinimo įrankiai

Matuojamas rodiklis	Kodėl matuojamas rodiklis svarbus?	Pasirinktas įrankis
Puslapio svoris (MB)	Šis rodiklis leidžia įvertinti bendrą duomenų perdavimo apimtį ir svetainės naudojamus resursus (HTTP Archive, 2025)	Pingdom Tools
CO ₂ emisija (g)	Rodiklis leidžiantis įvertinti atitikimą tvarumo standartams (Green Software Foundation, 2023-2025)	Digital Beacon
Užklausų skaičius (HTTP)	Parodo architektūros sudėtingumą ir tinklo apkrovą. Didelis skaičius didina tinklo apkrovą ir vėlavimą. (HTTP Archive, 2025)	Pingdom Tools
Serverio energija	Nustato, ar interneto svetainės priegloba (hostingas) naudoja „žaliąją“ energiją. (Green Web Foundation, 2024), t. y. nustatoma ar naudojama atsinaujinančiais energijos šaltiniais generuojama energija.	Green Web Foundation
DOM elementų kiekis	Kliento pusės procesoriaus apkrovos matas; didelis skaičius didina vartotojo įrenginio energijos sąnaudas. (Google, PageSpeed Insights dokumentacija, 2024)	PageSpeed Insights

Visi matavimai buvo atlikti naudojant tą patį įrenginį, siekiant išvengti įrenginių skirtumų įtakos rezultatams.

3. Populiariausių Lietuvos interneto svetainių skaitmeninio pėdsako vertinimas

Tyrimui buvo pasirinktos didžiausią lankomumą turinčios Lietuvos interneto svetainės iš žiniasklaidos, valstybinių institucijų ir elektroninės prekybos sektorių. Svetainių lankomumo populiarumui nustatyti pasitelktos tokie statistiniai duomenis fiksuojančios platformos *Gemius*, *Semrush* bei *AhrefsTop*.

Į tyrimą įtrauktos populiariausios žiniasklaidos svetainės Delfi.lt, 15min.lt, tv3.lt, lrytas.lt, lrt.lt, ve.lt, diena.lt ir respublika.lt, kurios užima lyderiaujančias pozicijas pagal vidutinį dienos realiųjų vartotojų skaičių platformos *Gemius* duomenimis (Gemius Baltic, 2025). Renkantis valstybinių institucijų svetaines buvo remtasi tarptautinės rinkos analitikos platformos *Semrush* duomenimis, kurie leidžia įvertinti valstybinių institucijų svetainių populiarumą globaliu mastu. Remiantis šio įrankio ataskaita tarp lankomiausių Lietuvos valstybinių institucijų svetainių pirmąja sodra.lt,

meteo.lt, epaslaugos.lt, vmi.lt ir lrv.lt, ignitis.lt, uzt.lt, eso.lt, registrucentras.lt ir e-tar.lt (Semrush, 2025). Remiantis pasauline svetainių lankomumo statistika pagal *AhrefsTop*, pateikiančios labiausiai lankomas interneto svetaines remiantis natūraliais Google paieškos įvedant raktinius žodžius rezultatais, populiariausios el. parduotuvės Lietuvoje yra gintarine.lt, pigu.lt, camelia.lt, varle.lt, vinted.lt, maxima.lt, barбора.lt, eurokos.lt ir zalando.lt (AhrefsTop, 2025).

Pasirinktų tirti skirtingų sektorių Lietuvos populiariausių interneto svetainių skaitmeninio pėdsako rodikliai vertinami 2 lentelėje nurodytais įrankiais. Matavimai atliekami tuo pačiu asmeniniu kompiuteriu naudojant *Google Chrome* interneto naršyklę. Tyrimui naudoti 2025 m. rugsėjo mėnesio populiarumo rezultatus pateikiančių platformų statistiniai duomenys. Atliktų matavimų rezultatai pateikti 3-oje lentelėje (internetu svetainės atskiruose sektoriuose pateikiamos tyrimo metu fiksuoto populiarumo mažėjimo tvarka).

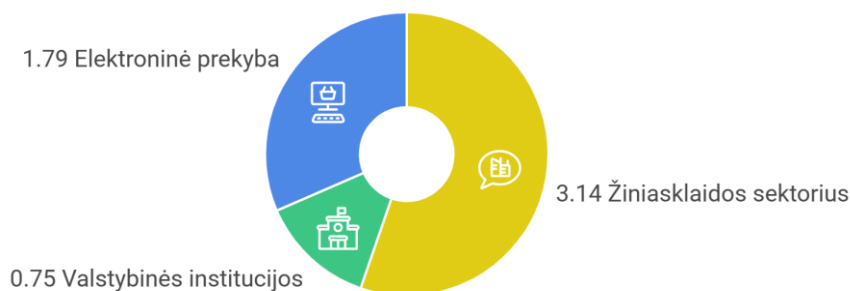
3 lentelė. Lietuvos populiariausių interneto svetainių skaitmeninio pėdsako rodiklių matavimo rezultatai (sudaryta autorių)

Svetainė	Puslapio svoris (MB)	CO ₂ emisija (g)	Užklausų skaičius (HTTP)	Serveris naudoja žaliają energiją?	DOM elementų kiekis
Žiniasklaidos svetainės					
Delfi.lt	7,1	2,823	81	Taip	50166
15min.lt	1,3	0,751	80	Taip	53237
tv3.lt	9,8	2,903	583	Taip	12545
lrytas.lt	10,1	1,367	248	Taip	4717
lrt.lt	14,3	1,517	408	Taip	7924
ve.lt	6,6	4,481	272	Taip	13224
diena.lt	25,4	8,478	251	Taip	3147
respublika.lt	65	2,364	220	Ne	3297
Valstybinių institucijų svetainės					
sodra.lt	77,3	0,434	3	Taip	985
meteo.lt	2,8	0,993	93	Ne	1067
epaslaugos.lt	69,2	0,210	5	Taip	664
vmi.lt	3	0,917	54	Taip	744
lrv.lt	82,3	0,296	5	Taip	336
ignitis.lt	5,7	1,779	48	Taip	1849
uzt.lt	71,8	1,133	4	Taip	1503
eso.lt	3,7	1,136	42	Taip	1173
registrucentras.lt	2,1	1,327	6	Ne	720
e-tar.lt	317,3	0,091	24	Taip	179

Svetainė	Puslapio svoris (MB)	CO ₂ emisija (g)	Užklausų skaičius (HTTP)	Serveris naudoja žaliąją energiją?	DOM elementų kiekis
Elektroninės prekybos sektoriaus svetainės					
gintarine.lt	11,1	3,405	142	Ne	12052
pigū.lt	2,8	1,024	53	Taip	1759
camelia.lt	3,5	0,728	189	Taip	2368
varle.lt	74,3	1,052	3	Taip	3074
vinted.lt	2,4	0,831	93	Taip	2466
maxima.lt	4,6	1,010	83	Taip	2093
barbora.lt	2,2	4,119	33	Taip	6517
eurokos.lt	175,6	2,323	17	Taip	5663
zalando.lt	2,61	0,995	99	Ne	1614

Pastaba: 1 lentelėje raudona spalva pažymėtos matavimų reikšmės rodo, jog yra viršytos leistinos rodiklių reikšmės, oranžine spalva pažymėtos viršijusios leistiną normą, tačiau dar ne peržengusios kritinės ribos

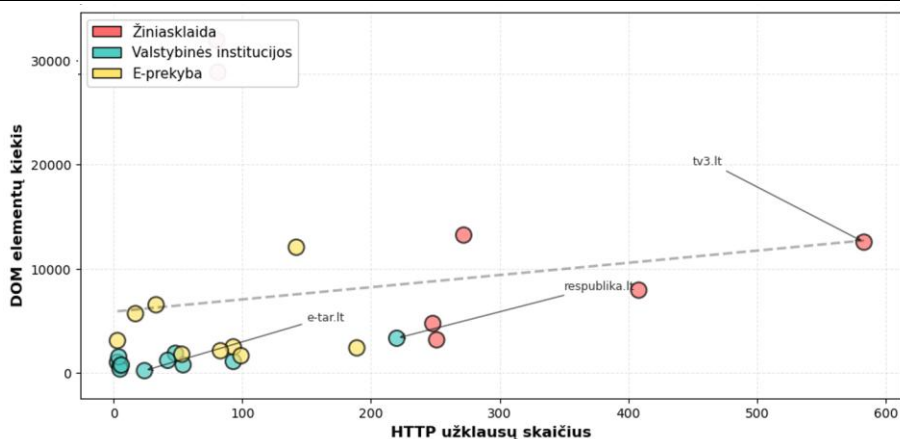
Atlikta analizė atskleidė CO₂ emisijų skirtumus tarp skirtingų Lietuvos interneto svetainių sektorių. Remiantis gautais rezultatais (1 pav.) didžiausią skaitmeninį pėdsaką generuoja žiniasklaidos svetainės, kurios vidutiniškai išskiria 3,14 g CO₂ vieno apsilankymo metu.



1 pav. Lietuvos populiariausių interneto svetainių CO₂ emisijos pagal sektorius (sudaryta autorių)

Analizuotos žiniasklaidos svetainės iš kitų išsiskiria ir didesniu DOM elementų kiekiu, o tai rodo, jog yra potencialiai didesnė kliento pusės apkrova. Didelis DOM elementų kiekis siejamas su prastesniu svetainių našumu, remiantis web.dev svetainės struktūros sudėtingumas jau yra padidėjęs, jeigu ji turi apie 800 DOM elementų, o daugiau nei 1400–1500 elementų yra laikoma kritine riba, kuri gali reikšmingai paveikti puslapio funkcionalumą (web.dev, 2023).

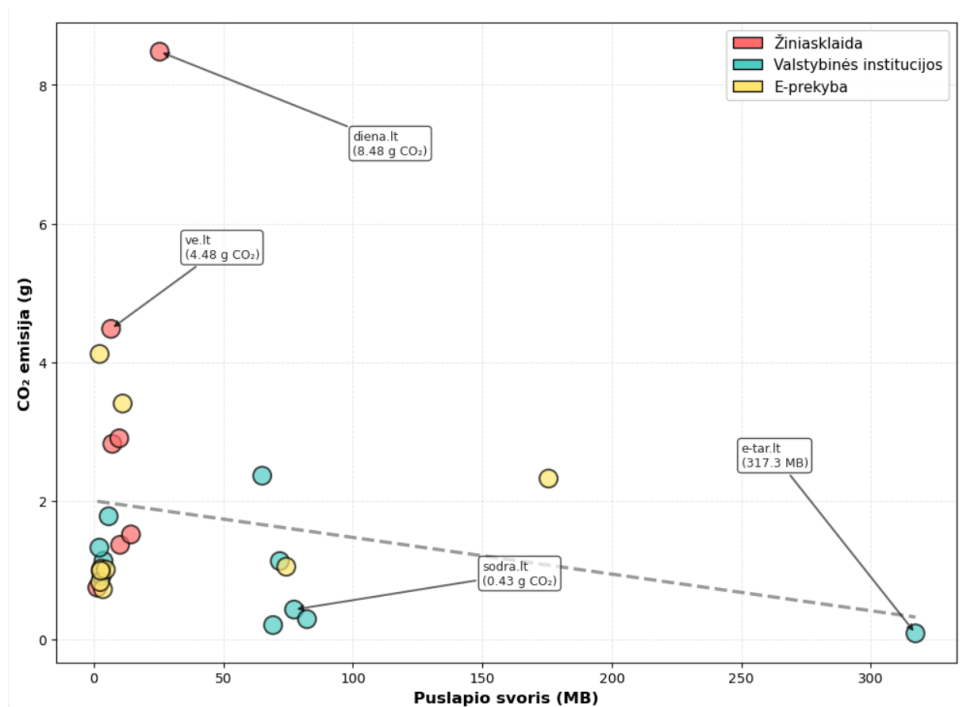
Žiniasklaidos svetainės išsiskiria ir didesniu HTTP užklausų skaičiumi, kurios tiesiogiai įtakoja svetainės užkrovimo ir veikimo spartą. Nors vidutiniškai svetainės generuoja apie 70–75 užklausas, siekiant išvengti našumo problemų optimizavimo standartai rekomenduoja neviršyti 50 (HTTP Archive, 2024). Tačiau, kaip matyti 2 pav. nėra stiprios koreliacijos tarp HTTP užklausų ir DOM elementų kiekio, tai rodo, kad svetainės struktūros sudėtingumas ir tinklo apkrova priklauso nuo skirtingų optimizavimo sprendimų ir turi būti vertinami atskirai.



2 pav. HTTP užklausų skaičiaus ir DOM elementų kiekio tarpusavio priklausomybės diagrama (sudaryta autorių)

Skirtingus struktūrinius sprendimus galima išvelgti ir analizuotose svetainėse, pavyzdžiui, tv3.lt išsiskiria itin dideliu HTTP užklausų skaičiumi (583), tačiau santykinai mažesniu DOM elementų kiekiu (12545), kas rodo intensyvų išorinių resursų naudojimą. Tuo tarpu e-tar.lt pasižymi minimaliu tiek HTTP užklausų, tiek DOM elementų kiekiu, todėl ji gali būti laikoma tvarumo požiūriu itin optimizuota svetaine. Respublika.lt turi didesnę DOM elementų kiekį (3297), bet palyginti mažą užklausų skaičių (220), kas rodo kitokio tipo struktūrinę sudėtingumą.

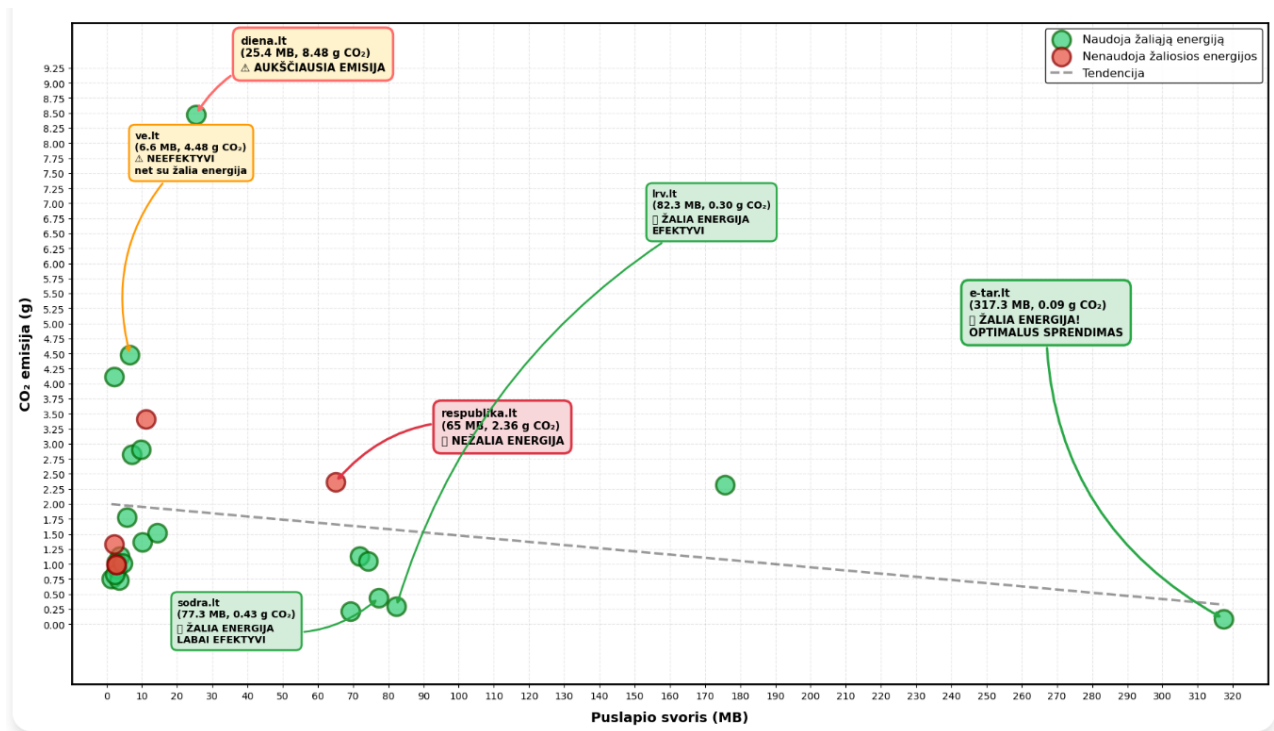
Dažniausiai, didesnis puslapio svoris reiškia ir didesnę CO₂ emisiją (3 pav.), bet yra išimčių, pavyzdžiui, e-tar.lt turi labai mažą CO₂ emisiją (0,091 g), nors svoris yra nemažas (317,3 MB). diena.lt (25,4 MB) ir ve.lt (6,6 MB) turi neproporcingai didelę CO₂ emisiją.



3 pav. Interneto svetainės puslapio svorio poveikis CO₂ emisijai (sudaryta autorių)

Puslapio svoris nėra vienintelis CO₂ emisijos veiksnys – svarbu ir naudojamas serverio energijos šaltinis. 4 pav. pateikta diagrama nurodo ryšį tarp puslapio svorio, CO₂ emisijos ir žaliosios energijos naudojimo. Išsiskiria e-tar.lt svetainė, kuri turėdama didžiausią puslapio svorį (317,3 MB), pasiekia minimalią CO₂ emisiją (0,091 g), nes serveris naudoja žaliąją energiją. Priešingai, diena.lt, kuri turi santykinai mažą svorį (25,4 MB) ir generuoja aukščiausią emisiją (8,478 g) nors naudoja žaliąją energiją, tai rodo, kad neoptimizuotas kodas ir daug DOM elementų (3147) daro reikšmingą poveikį,

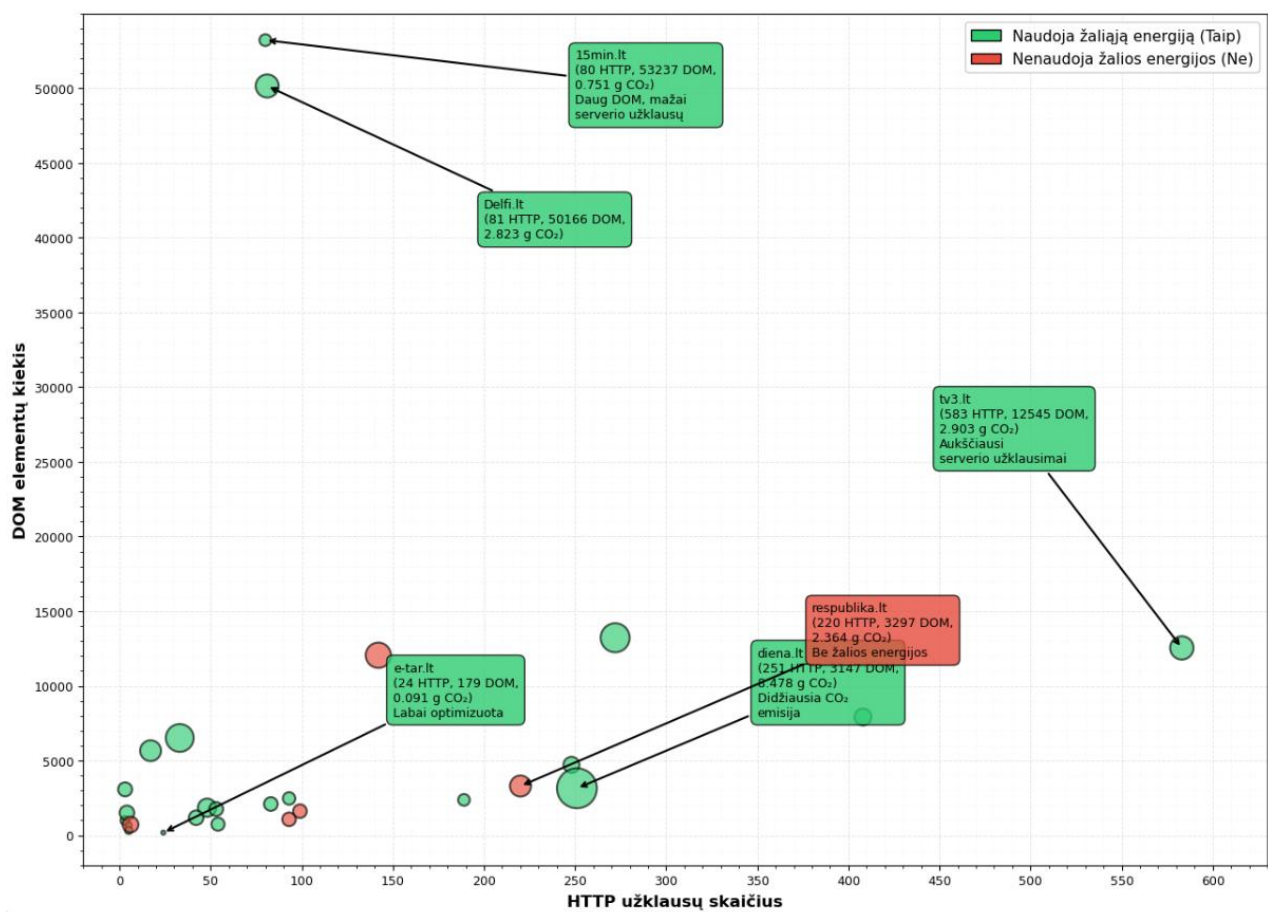
kurio žalioji energija negali visiškai kompensuoti. Panašiai ve.lt (6,6 MB), kuri turi neproporcingai aukštą CO₂ emisiją (4,481 g) net naudodama žaliąją energiją, o tai reiškia, neefektyvų kodo optimizavimą. Tuo tarpu sodra.lt, nors ir turi gana didelį svorį (77,3 MB), pasiekia žemą CO₂ emisiją (0,434 g) dėl serverio žalios energijos naudojimo.



4 pav. Interneto svetainės puslapio svorio poveikis CO₂ emisijai su žaliosios energijos naudojimo poveikiu (sudaryta autorių)

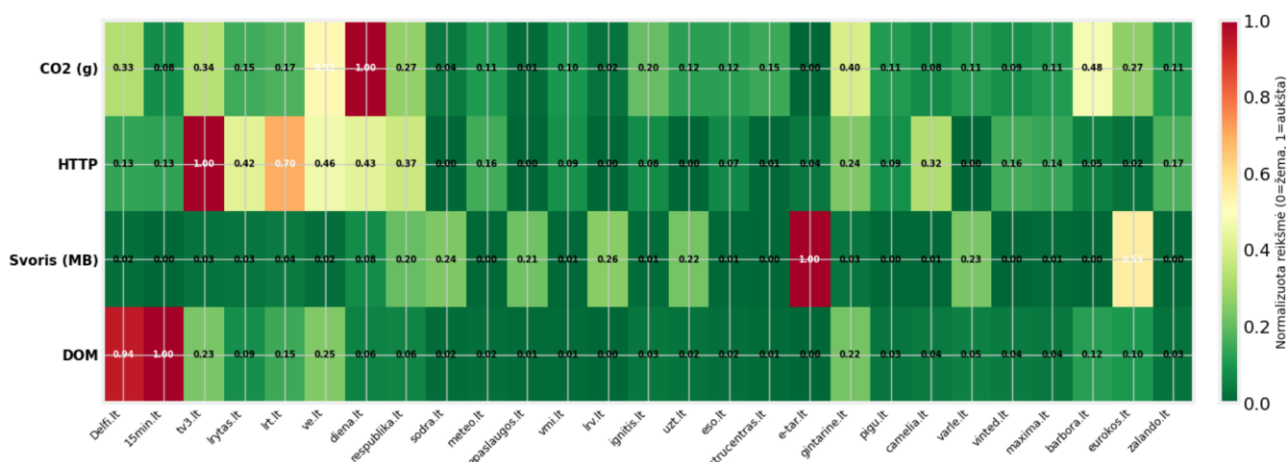
DOM elementai ir HTTP užklausos nėra vienodai svarbūs CO₂ emisijai. Iš 5 paveiksle pateiktų duomenų galima matyti, kad interneto svetainės su dideliu DOM elementų kiekiu (pvz., 15min.lt – 53237 elementų) gali turėti žemą CO₂ emisiją (0,751 g), jei HTTP užklausų skaičius yra mažas. Tai rodo, kad serverio apkrova (HTTP užklausos) turi didesnę poveikį CO₂ emisijai negu kliento pusės sudėtingumas (DOM elementų skaičius). Pavyzdžiui, tv3.lt turi 583 užklausas ir 12545 DOM elementus – tai didelė kliento pusės apkrova, kas didina energijos sąnaudas. Todėl puslapio architektūros supaprastinimas gali reikšmingai sumažinti skaitmeninį pėdsaką, net jei puslapio dydis nėra mažas.

Svetainės, kurios naudoja žaliąją energiją (dauguma valstybinių ir žiniasklaidos svetainių), turi žymiai mažesnę CO₂ emisiją, net jei puslapio svoris didelis. Todėl naudojant žaliąją energiją serveriuose galima smarkiai mažinti skaitmeninį pėdsaką be didelių techninių pakeitimų puslapyje.



5 pav. Interneto svetainės DOM elementų ir HTTP užklausų ryšys su CO₂ emisija (sudaryta autorių)

Siekiant aiškiau matyti tyrime vertintų Lietuvos populiariausių interneto svetainių skaitmeninio pėdsako rodiklių pasiskirstymą buvo sudarytas skaitmeninio pėdsako šilumos žemėlapis (6 pav.), kuriame atvaizduotos 4-ių matavimuose naudotų rodiklių adaptuotos (intervalui 0,0-1,0) vertės.

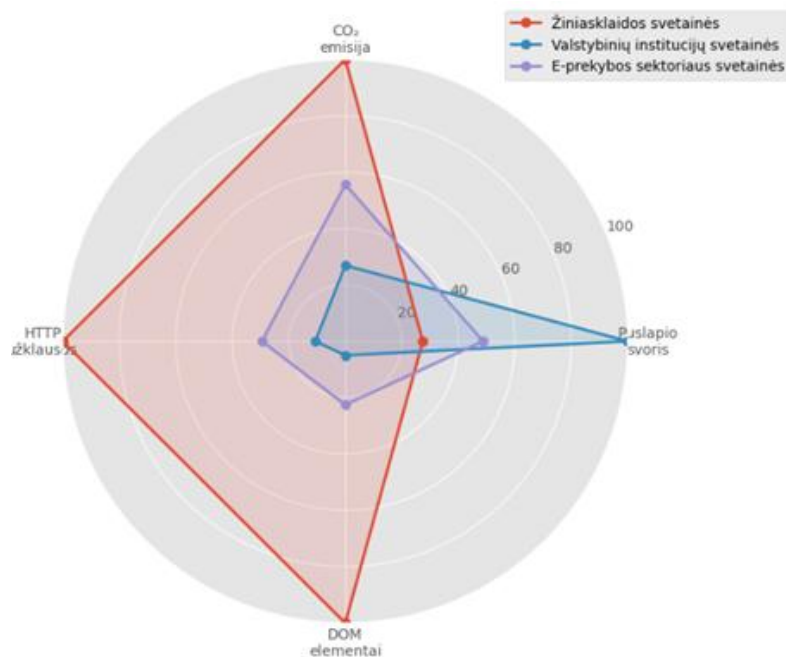


6 pav. Lietuvos populiariausių interneto svetainių skaitmeninio pėdsako šilumos žemėlapis (sudaryta autorių)

Kaip matyti analizuotų svetainių skaitmeninio pėdsako šilumų žemėlapyje (6 pav.) populiariausios Lietuvos svetainės ženkliai skiriasi energetiniu efektyvumu ir CO₂ emisija. Valstybinių institucijų svetainės pasižymi mažiausia CO₂ emisija (vidutiniškai 0,83 g), nors kai kurios iš jų turi didelius puslapio svorius (pvz., e-tar.lt – 317,3 MB). Žiniasklaidos svetainės išsiskiria aukšta CO₂ emisija (vidutiniškai 3,08 g) ir dideliu DOM elementų kiekiu (vidutiniškai 18532), kas rodo, kad šioms interneto svetainėms trūksta kodo optimizavimo. Elektroninės prekybos interneto svetainės

užima tarpinę poziciją, čia derinamas efektyvumas ir funkcionalumas. Šie duomenys rodo, kad skaitmeninis pėdsakas nėra vienareikšmis – jį lemia skirtingi veiksniai, o jų optimizavimo strategijos turėtų būti pritaikytos kiekvienai svetainei atskirai. Dauguma tirtų svetainių (82%) naudoja žaliąją energiją, tačiau tai negarantuoja žemo aplinkos poveikio. Todėl šilumos žemėlapis suteikia informacinį pagrindą prioritizuoti optimizavimo pastangas – tiesioginiai tikslai turėtų būti puslapio svorio mažinimas ir HTTP užklausų skaičiaus sumažinimas, nes šie veiksniai labiausiai koreliuoja su CO₂ emisija ir energijos suvartojimą.

Lyginant skirtingų sektorių skaitmeninio pėdsako ypatumus pagal keturis pagrindinius rodiklius (7 pav.), galima pastebėti, kad žiniasklaidos svetainės pasižymi aukščiausiais HTTP užklausų skaičiais ir didžiausiu DOM elementų kiekiu. Tai rodo, kad šios svetainės yra interaktyvios ir dinamiškos, tačiau CO₂ emisija šiame sektoriuje yra vidutinė, o puslapio svoris – mažesnis nei valstybinių institucijų svetainėse. Todėl galima daryti išvadą, kad žiniasklaidos svetainės turi didelį skaitmeninį pėdsaką dėl sudėtingumo, o ne dėl didelių failų. Valstybinių institucijų svetainės pasižymi didžiausiu puslapio svoriu, kuris beveik 4 kartus viršija žiniasklaidos svetainių svorį. Tai rodo, kad jų svetainėse naudojami dideli failai, tačiau užklausų skaičius ir DOM elementų kiekis, o taip pat ir CO₂ emisija yra mažiausia lyginant su kitais sektoriais. Elektroninės prekybos svetainių visi rodikliai yra vidutiniai, todėl jos nėra nei per sudėtingos, nei per paprastos, t. y. pasiekiamas kompromisas tarp funkcionalumo ir efektyvumo.

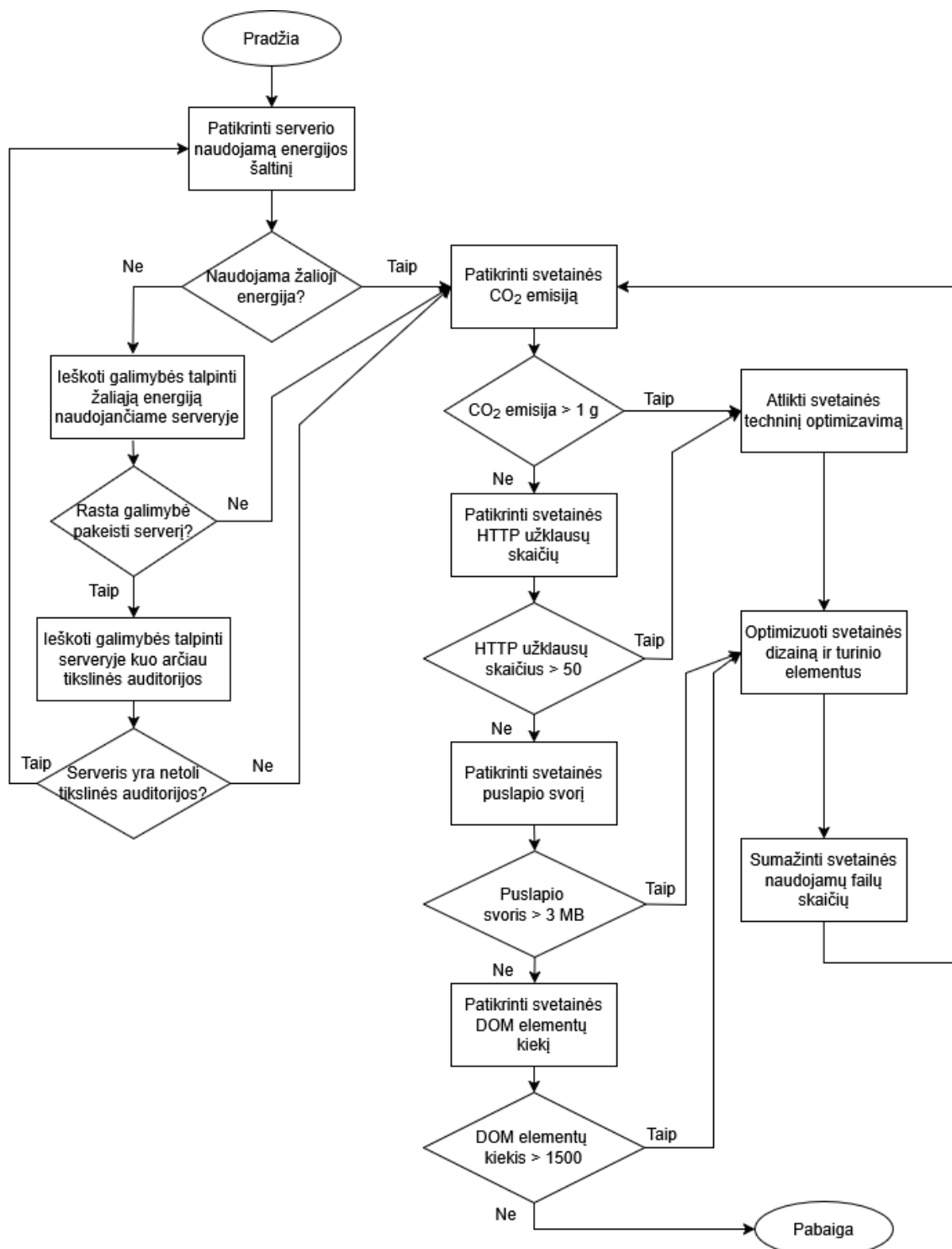


7 pav. Lietuvos populiariausių interneto svetainių skaitmeninio pėdsakas pagal sektorius (sudaryta autorių)

Kadangi interneto svetainės paliekamo skaitmeninio pėdsako šaltiniai skiriasi, jo mažinimo strategijos taip pat turėtų būti skirtingos. Žiniasklaidos svetainėse būtų tikslinga optimizuoti skriptus, valstybinių institucijų – sumažinti failų dydį, elektroninės prekybos svetainės gali išlaikyti panašius rodiklius tik atlikus mažus patobulinimus: sumažinti puslapio svorį, pavyzdžiui, mažinant nuotraukų, kurios gausiai jose naudojamos, dydį; sumažinti DOM elementų kiekį (vengti paslėptų elementų, sumažinti įskiepių kiekį, supaprastinti HTML struktūrą ir pan.).

4. Interneto svetainės skaitmeninio pėdsako mažinimo inžineriniai sprendimai

Analizuojant tyrimo metu gautų Lietuvos populiariausių skirtingo sektoriaus interneto svetainių skaitmeninio pėdsako rodiklių matavimo rezultatus bei šių rodiklių priežastinius tarpusavio ryšius galima stebėti bendrą interneto svetainės optimizavimo tvarumo požiūriu, t. y. siekiant sumažinti vis labiau skaitmenizuojamai aplinkai daromą žalą, veiksmų seką. Interneto svetainės optimizavimo algoritmas pateikiamas 8 pav.



8 pav. Interneto svetainės optimizavimo tvarumo požiūriu algoritmo schema (sudaryta autorių)

Internetos svetainės skaitmeninio pėdsako mažinimo procesas turėtų būti pradamas įvertinant, jei jau svetainė naudojama, arba pasirenkant naujai kuriamos interneto svetainės prieglobos serverį.

Pirmiausiai turėtų būti atsižvelgiama ar serveris naudoja žaliąją energiją. Jei žaliaji energija nenaudojama, ieškoti galimybės perkelti ar talpinti svetainę žaliąją energiją naudojančiame serveryje, tuo pačiu reiktų įvertinti kurioje fizinėje vietoje serveris yra ir, jei yra galimybė, pasirinkti serverį, kuris yra kuo arčiau tikslinės interneto svetainės vartotojų auditorijos ir taip sudaryti prielaidas sumažinti duomenų perdavimo kelią ir tinklo energijos sąnaudas.

Pasirinkus kaip įmanoma tinkamesnį interneto svetainės talpinimo serverį toliau turėtų būti įvertinama interneto svetainės išskiriama CO₂ emisija. Jei gautas rodiklis viršija 1 g, pirmiausiai turėtų būti atliekami interneto svetainės techninio optimizavimo darbai: optimizuojami vaizdai jų failus suglaudinant, naudojant modernius formatus (pvz., WebP, AVIF), pritaikant tikslų dydį ekranui; tiesiogiai svetainėje naudojami didelės apimties vaizdo įrašai patalpinami į išorines vaizdų talpyklas (pvz., Youtube) ir svetainėje integruojamos nuorodos; sumažinami CSS, JavaScript, HTML failai, pašalinant nereikalingus tarpus, komentarus, kodą, pritaikomas atidėtas įkėlimas, kai vaidai vartotojui įkeliami tik tada, kai vartotojas juos realiai pasiekia; pritaikomi naršyklės talpyklos nustatymai, kurie leidžia lankytoji išsaugoti dalį interneto svetainės duomenų ir pakartotinai lankantis toje svetainėje nebereikia iš naujo siųsti visos interneto svetainės informacijos. Kitas žingsnis – optimizuoti interneto svetainės dizainą ir turinio elementus, sutelkiant dėmesį ir būtiniausių funkcionalumą. Tam pirmiausiai reiktų peržiūrėti ir kaip įmanoma supaprastinti interneto svetainės struktūrą, sumažinti struktūrinių elementų skaičių, atsisakyti mažai naudojamų funkcijų, naudoti sisteminius šriftus arba apriboti naudojamų šriftų stilių skaičių, sumažinti pateikiamos informacijos kiekį – palikti tik vartotojui naudingiausią ir aktualiausią. Tolimesnis žingsnis yra peržiūrėti ir sumažinti interneto svetainės naudojamų failų skaičių, kur įmanoma failų (pvz., JavaScript, CSS) turinį sujungti į vieną, sukombinuoti tarpusavyje, peržiūrėti ar nėra perteklinių kodo failų – nenaudojamų, nesupakuotų CSS stilių, JavaScript scenarijų, išorinių bibliotekų. Interneto svetainėse naudojami trečiųjų šalių įskiepai (pvz., pokalbių robotai, reklaminiai skydeliai, lankytojų stebėsenos įrankiai, analitikos įrankiai, socialinių tinklų mygtukai, valdikliai ir pan.) didina įkeliamų failų skaičių, todėl būtina peržiūrėti jų naudojimą ir palikti tik būtiniausius interneto svetainės naudojimo tikslams pasiekti.

Jei matuojant interneto svetainės CO₂ emisiją gaunamas rodiklis, neviršijantis leistinos ribos, tuomet turėtų būti matuojamas HTTP užklausų skaičius, DOM elementų kiekis bei puslapio svoris. Gavus tam tikro matavimo metu reikšmes, viršijančias leistinas rodiklio ribas, turėtų būti imamasi algoritmo schemoje (8 pav.) nurodytų interneto svetainės optimizavimo veiksmų.

Interneto svetainės kūrimo eigoje nuolat sekant skaitmeninio pėdsako rodiklius bei svetainę atitinkamai optimizuojant prisidedama prie tvaresnės skaitmeninės erdvės kūrimo.

Išvados

1. Interneto svetainės skaitmeninis pėdsakas yra kompleksinis rodiklis, kurį lemia tiek svetainės svoris, tiek duomenų perdavimo apimtys (HTTP užklausos), tiek svetainės architektūra (DOM elementų kiekis) ir infrastruktūra (serverio, kuriame talpinama svetainė, energija). Todėl tik visuminis šių atskirų rodiklių vertinimas leidžia nustatyti interneto svetainės poveikį aplinkai ir identifikuoti optimizavimo prioritetus.
2. Tyrimas atskleidė skirtumus tarp tirtų sektorių – žiniasklaidos interneto svetainės generuoja didžiausią CO₂ emisiją, valstybinių institucijų svetainės – mažiausią, o elektroninės prekybos svetainės užima tarpinę poziciją. Taip pat analizė parodė, kad CO₂ emisiją skirtinguose sektoriuose lemia nevienodi veiksniai:
 - 2.1. Žiniasklaidos svetainėse didžiausią įtaką daro turinio kiekis, didelis užklausų skaičius ir sudėtinga svetainės struktūra, todėl šiuo atveju efektyviausia skaitmeninio pėdsako mažinimo kryptis yra užklausų skaičiaus mažinimas bei puslapio struktūros optimizavimas, siekiant sumažinti bendrą sistemos apkrovą.
 - 2.2. Valstybinių institucijų svetainėse didžiausią neigiamą poveikį CO₂ emisijai daro HTTP užklausų skaičius, todėl efektyviausia optimizavimo kryptis yra jų mažinimas, siekiant sumažinti serverio apkrovą ir duomenų perdavimo intensyvumą.

2.3. Elektroninės prekybos sektoriuje CO₂ emisiją labiausiai didina dinaminis turinys ir aktyvūs vartotojo veiksmai. Šios svetainės dažnai turi interaktyvios paieškos, filtravimo, krepšelio ir rekomendacijų sistemas, kurios generuoja papildomas HTTP užklausas ir aktyvina daugybę DOM elementų. Nors puslapio svoris taip pat gali prisidėti, CO₂ emisijas labiau lemia šios interaktyvios funkcijos. Todėl efektyviausia skaitmeninio pėdsako mažinimo kryptis elektroninės prekybos svetainėse yra vartotojo sąveikos funkcijų optimizavimas, užklausų mažinimas ir turinio bei skriptų racionalizavimas.

Taigi kiekviename sektoriuje dominuoja skirtingi veiksniai, formuojantys bendrą skaitmeninį pėdsaką, todėl sektoriaus ypatumai reikalauja ir skirtingų optimizavimo strategijų.

3. Tyrimo metu nustatyta, kad HTTP užklausų skaičius daro didesnę įtaką CO₂ emisijai nei DOM elementų kiekis, o žaliosios energijos naudojimas gali reikšmingai sumažinti skaitmeninį pėdsaką, tačiau negali visiškai kompensuoti perteklinių resursų naudojimo ar neoptimizuoto kodo. Nors skirtingo sektoriaus interneto svetainių skaitmeninio pėdsako mažinimo strategijos skiriasi, tačiau stebint bendras tendencijas parengta apibendrinta veiksmų seka sudaro prielaidas mažinti interneto svetainės skaitmeninį pėdsaką bei prisidėti prie tvaresnės skaitmeninės visuomenės plėtojimo.

Literatūros sąrašas

1. AhrefsTop (2025). Top shopping websites in Lithuania. <https://ahrefstop.com/websites/lithuania/shopping>
2. Arnia (2025). Green Software Engineering for a Sustainable Future. <https://www.arnia.com/green-software-engineering-for-a-sustainable-future/>
3. Contino (2024). Making sense of the 8 Principles of Sustainable Software. <https://www.contino.io/insights/sustainable-software-development>
4. EcoFriendlyWeb (n.d.). National Geographic Kids UK website earns climate positive accreditation. <https://ecofriendlyweb.org/national-geographic-kids-uk-website-earns-climate-positive-accreditation/>
5. Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S. & Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9), DOI: 10.1016/j.patter.2021.100340
6. Gemius Baltic (2025). Interneto svetainių lankomumo reitingai Lietuvoje 2025 m. gemiusAudience: rugsėjo mėnesio apžvalga. <https://gemius.com/lt/blogas/gemiusaudience-2025-rugsejo-menesio-apzvalga/>
7. Green Software Foundation (2023). 2023 State of Green Software. <https://stateof.greensoftware.foundation/en/>
8. Green Software Foundation (2023–2025). *Software Carbon Intensity (SCI) specification v1.1.0*. <https://sci.greensoftware.foundation>
9. HTTP Archive (2024). Page Weight. Part IV Chapter 16. <https://almanac.httparchive.org/en/2024/page-weight>
10. HTTP Archive (2024). State of the Web: Page Weight and Request Counts. almanac.httparchive.org
11. HTTP Archive (2025). Page Weight. Part IV Chapter 14. <https://almanac.httparchive.org/en/2025/page-weight>
12. Informacinės visuomenės plėtros komitetas (2023). Bendrųjų reikalavimų valstybės ir savivaldybių institucijų ir įstaigų interneto svetainėms ir mobiliosioms programoms aprašas. e-seimas.lrs.lt
13. Rani, P., Zellweger, J., Kousadianos, V., Cruz, L., Kehrer, T., Bacchelli, A. (2024). Energy Patterns for Web: An Exploratory Study, 2024 IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Society (ICSE-SEIS), Lisbon, Portugal, 2024, pp. 12-22. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10554781>
14. Semrush (2025, rugsėjis). Top Government Websites in Lithuania. <https://www.semrush.com/trending-websites/lt/government>
15. web.dev (2023). DOM size and interactivity. <https://web.dev/articles/dom-size-and-interactivity>
16. W3C (2022). Web sustainability guidelines. W3C. <https://www.w3.org/TR/web-sustainability-guidelines/>

ANALYSIS OF POSSIBILITIES FOR REDUCING THE DIGITAL FOOTPRINT OF THE MOST POPULAR LITHUANIAN WEBSITES

Gerda Ivanickienė, Jūratė Ignatavičiūtė

*Utenos kolegija/Higher Education Institution,
Maironio str. 7, Utena, Lithuania*

Summary

The article examines the possibilities of reducing the digital footprint of a website, which are particularly relevant from the perspective of sustainable software engineering. The rapidly growing pace of digitalization and the development of Internet services force more and more users to use the services they need online, but those who implement the services (when creating service websites, hosting them on servers, etc.) usually do not devote too much time to assessing the energy efficiency of the website and its impact on the environment. The purpose of this article is to analyse the digital footprint of the most popular Lithuanian websites from an engineering point of view and to identify opportunities for reducing their digital footprint. The article discusses the main indicators of the digital footprint of a website and the means to measure them, presents the results of the measurements of the digital footprint indicators of the most popular Lithuanian websites in different sectors, and formulates recommendations based on them, creating the prerequisites for reducing the digital footprint of a website and contributing to the development of a more sustainable digital society.

The main findings:

1. The digital footprint of a website is a complex indicator that is determined by the weight of the website, the volume of data transfer (HTTP requests), the website architecture (the number of DOM elements) and the infrastructure (the energy of the server where the website is located). Therefore, only overall assessment of these individual indicators allows us to determine the environmental impact of a website and identify optimization priorities.
2. The study revealed differences between the studied sectors - media websites generate the highest CO₂ emissions, government websites the lowest, and e-commerce websites occupy an independent position. The analysis also showed that CO₂ emissions in different sectors are determined by different factors, therefore, the specifics of the sector require different optimization strategies.
3. The study found that the number of HTTP requests has a greater impact on CO₂ emissions than the number of DOM elements, and the use of green energy can significantly reduce the digital footprint, but cannot fully compensate for the use of excess resources or unoptimized code. Although the strategies for reducing the digital footprint of websites in different sectors differ, a generalized sequence of actions prepared by observing general trends creates the prerequisites for reducing the digital footprint of a website and contributing to the development of a more sustainable digital society.

The following research methods were applied in preparing the article: analysis of scientific literature and internet sources, evaluation of measurement indicators, comparative analysis, generalization.

Keywords: website digital footprint, digital footprint reduction, sustainable software, digital footprint assessment indicators.